

Seletividade e eficácia de herbicidas aplicados em canola para controle de plantas daninhas

Selectivity and efficacy of herbicides applied to canola for weed control

Leandro Galon* (ORCID 0000-0002-1819-462X), **Marlon Balke** (ORCID 0000-0003-0008-1069), **Daniel Cristian Cavaletti** (ORCID 0000-0001-7771-3234), **Otilo Daniel Henz Neto** (ORCID 0000-0002-6437-690X), **Daiani Brandler** (ORCID 0000-0002-3347-0522), **Moises Henrique Schmitz** (ORCID 0000-0003-2752-6275), **David Fambre Mezadri** (ORCID 0000-0002-4301-597), **Gismael Francisco Perin** (ORCID 0000-0002-9036-0426)

Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, RS, Brasil. *Autor para correspondência: leandro.galon@uffs.edu.br

Submissão: 19/10/2022 | Aceite: 21/01/2023

RESUMO

O uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas é o método mais empregado pela eficácia, rapidez e menor custo, porém poucos são os produtos registrados à cultura da canola. Diante disso, objetivou-se com os trabalhos avaliar a seletividade (ensaio I) e a eficácia (ensaio II) de herbicidas aplicados de modo isolado ou associados em pré e pós-emergência da canola para o controle de plantas daninhas. Os experimentos foram instalados em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Em pré-emergência aplicou-se os herbicidas oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin, trifluralin e em pós-emergência o fluazifop-p-butyl, mais as testemunhas capinada e infestada. Foram avaliadas a fitotoxicidade e as características fisiológicas no ensaio de seletividade, e o controle das plantas daninhas nabo, azevém e aveia preta no experimento de eficácia. Nos dois experimentos determinou-se os números de siliques por planta, de grãos por síliqua, densidade de plantas, massa de mil grãos e a produtividade de grãos. O oxyfluorfen aplicado em isolado ou associado ao fluazifop-p-butyl ocasionou as maiores fitotoxicidades ao híbrido de canola Diamond. As menores fitotoxicidades foram observadas para o pendimethalin e ao fluazifop-p-butyl aplicados em isolado ou associados. Todos os herbicidas testados causaram estresse na concentração interna de CO₂, transpiração, condutância estomática, atividade fotossintética, eficiência do uso da água e de carboxilação. O flumioxazin e o fluazifop-p-butyl aplicados em pré e pós-emergência da canola apresentaram os melhores resultados para os componentes de rendimento de grãos da cultura, especialmente maior produtividade, juntamente com a testemunha capinada no ensaio de seletividade. Nenhum dos tratamentos com herbicidas controlaram adequadamente o nabo (experimento 2), e a presença desta planta daninha afetou negativamente os componentes de rendimento de grãos da canola. O fluazifop-p-butyl aplicado em isolado ou associado ao oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin e trifluralin apresentaram os melhores controles de azevém e aveia preta.

PALAVRAS-CHAVE: *Avena strigosa*; *Brassica napus var. oleífera*; *Lolium multiflorum*; *Raphanus sativus*; *R. raphanistrum*.

ABSTRACT

The use of herbicides for weed control is the most used method due to its effectiveness, speed, and lower cost, but few products are registered for canola crops. In this way, the objective of this work was to evaluate the selectivity (experiment 1) and efficiency (experiment 2) of herbicides applied alone or in association in pre- and post-emergence of canola for weed control. The experiments were carried out in randomized blocks design, with four replications. In pre-emergence, the herbicides oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin, and trifluralin were applied, and in post-emergence, fluazifop-p-butyl, plus weeded and infested controls. Phytotoxicity and physiological characteristics were evaluated in the selectivity experiment, and the control of turnip, ryegrass, and black oat weeds were evaluated in the efficacy experiment. In both experiments, the number of siliques per plant, grains per silique, plant density, thousand-grain weight, and grain yield were determined. Oxyfluorfen applied alone or associated with fluazifop-p-butyl caused the highest phytotoxicity to the Diamond canola hybrid. The lowest phytotoxicities were observed for pendimethalin and fluazifop-p-butyl applied alone or in an association. All tested herbicides caused stress on internal CO₂ concentration, transpiration, stomatal conductance, photosynthetic activity, water use efficiency, and carboxylation efficiency. Flumioxazin and fluazifop-p-butyl

applied pre- and post-emergence of canola showed the best results for the crop yield components, especially higher productivity, also with the weeded control in the selectivity experiment. None of the herbicide treatments controlled turnip properly (experiment 2), and the presence of this weed negatively affected canola yield components. Fluazifop-p-butyl applied alone or in association with oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin, and trifluralin showed the best controls of ryegrass and black oat.

KEYWORDS: *Avena strigosa*; *Brassica napus* var. *oleifera*; *Lolium multiflorum*; *Raphanus sativus*; *R. raphanistrum*.

INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) é uma oleaginosa de ciclo anual pertencente à família Brassicaceae que foi selecionada a partir da colza (*Brassica napus*), podendo ser utilizada para rotação de culturas, cobertura vegetal para o solo nos períodos mais frios do ano, produção de biodiesel ou mesmo para alimentação humana (MELGAREJO et al. 2014). No entanto, a produtividade da canola poderia ser maior caso melhores manejos relacionados ao controle de plantas daninhas fossem adotados.

A competição das plantas daninhas com a cultura da canola pode ocorrer por água, luz e nutrientes, causando redução significativa na produtividade e na qualidade dos grãos colhidos, além de aumentar os custos de produção das lavouras (DURIGON et al. 2019, BRANDLER et al. 2021a,b). Além disso, as plantas daninhas podem ser hospedeiras de insetos e doenças ou mesmo liberar compostos alelopáticos que interferem negativamente no crescimento e desenvolvimento das culturas, refletindo diretamente na produção final, com perdas que podem ser superiores a 80% quando não se utiliza nenhum método de controle (DURIGON et al. 2016, BRANDLER et al. 2021a,b, GALON et al. 2021).

A canola, quando comparada com as principais culturas de inverno, especialmente o trigo e a cevada, possui baixa capacidade competitiva quando infestada por plantas daninhas (BALEM et al. 2021, BRANDLER et al. 2021a). Dentre as plantas daninhas que infestam a canola, pode-se destacar o nabo/nabiça (*Raphanus sativus* ou *R. raphanistrum*), o azevém (*Lolium multiflorum*) e a aveia preta (*Avena strigosa*) (DURIGON et al. 2016, BRANDLER et al. 2021a,b, GALON et al. 2021). Essas espécies também são comumente utilizadas para adubação verde ou como forrageiras de inverno e normalmente deixam grande banco de sementes no solo.

As plantas daninhas mais competitivas pelos recursos do meio, em uma lavoura, normalmente são as que pertencem à mesma família botânica da cultura, pois possuem necessidades similares de recursos de forma concomitante (BRANDLER et al. 2021a,b). Desta forma, plantas do gênero *Raphanus* normalmente ocasionam elevados danos econômicos em virtude da competição que ocorre (BRANDLER et al. 2021a,b, GALON et al. 2022), dificuldade de controle pelas semelhanças morfofisiológicas com a canola (DURIGON et al. 2016) ou mesmo em razão da escassez de herbicidas registrados para o controle químico nessa cultura (AGROFIT 2023).

Além do nabo/nabiça ocasionarem perdas de produtividade na cultura da canola por competição (BRANDLER et al. 2021b, GALON et al. 2022), ainda podem afetar a qualidade do produto colhido, pois possuem ácido erúxico na composição do óleo presente nas sementes, sendo esse tóxico para alimentação humana (SANTOS et al. 2018a). Desta forma, necessitam ser separados no processo de limpeza quando a cultura for destinada como matéria prima para produção de óleo comestível.

O uso de herbicidas é o principal método de controle de plantas daninhas em razão da rapidez, eficácia e o menor custo quando comparado a outros métodos de manejo. No entanto há necessidade do estudo da seletividade desses produtos, para avaliar a ação fitotóxica de determinado herbicida à cultura de interesse econômico (CORREIA & CARVALHO 2021). A seletividade é a base para o sucesso do controle químico de plantas daninhas na produção agrícola, sendo considerada como uma medida da resposta diferencial de diversas espécies de plantas a um determinado herbicida (ALTERMAN & JONES 2003, CORREIA & CARVALHO 2021). Quanto maior a diferença de tolerância entre a cultura e a planta daninha, maior a segurança para aplicação dos herbicidas (OLIVEIRA Jr. & INOUE 2011, CORREIA & CARVALHO 2021). A seletividade de um determinado herbicida à cultura depende de vários fatores, tanto fisiológicos, como edafoclimáticos, inerentes à espécie e também as características físico-químicas do produto (DURIGON et al. 2016, OLIVER et al. 2016, GALON et al. 2022).

Os herbicidas podem exercer efeitos diretos e indiretos no crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas (ROBINSON et al. 2015, OLIVER et al. 2016, GALON et al. 2022). Podem ser observadas alterações na absorção de nutrientes, sintomas de fitotoxicidade e desregulação dos mecanismos de defesa da planta a determinados fatores abióticos ou bióticos, que não são perceptíveis e nem amplamente considerados (ROBINSON et al. 2015, OLIVER et al. 2016, GALON et al. 2022).

Escassos são os herbicidas registrados e recomendados para uso em pré ou pós-emergência para controle de nabo/nabiça, azevém e aveia preta infestantes da canola, tornando-se assim difícil o controle dessas espécies (DURIGON et al. 2016, AGROFIT 2023). Dentre os herbicidas usados para o controle de nabo/nabiça destacam-se os inibidores de acetolactato sintase (ALS), em especial para canola Clearfield (DURIGON et al. 2019). No entanto, esses produtos são os que selecionaram mais casos de biótipos de plantas daninhas resistentes (HEAP 2023), inclusive o próprio nabo/nabiça (PANDOLFO et al. 2013, CECHIN et al. 2016). Para o controle de monocotiledôneas em pós-emergência da canola, podem-se utilizar herbicidas pertencentes ao mecanismo de ação dos inibidores da ACCase (acetil coenzima A carboxilase), conhecidos como gramínicidas (VARGAS et al. 2011).

O uso dos herbicidas inibidores de ALS ou de ACCase para o controle de plantas daninhas infestantes, não somente da canola, mas de outras culturas, precisa estar associado com a rotação de culturas, de ingredientes ativos, de mecanismos de ação ou adoção do manejo integrado para evitar o surgimento de espécies resistentes a esses produtos. Na atualidade estão registrados 54 casos de plantas daninhas resistentes no Brasil, sendo 30 aos herbicidas inibidores de ALS e nove aos inibidores de ACCase (HEAP 2023), tornam-se assim muito importante a adoção de medidas para evitar o aumento de espécies resistentes na produção agrícola brasileira.

Diante da importância da canola e em virtude da escassez de herbicidas registrados para o controle de plantas daninhas infestantes dessa cultura, tornam-se necessários estudos que busquem encontrar novos produtos para o manejo das plantas daninhas, mesmo sem registro para essa finalidade. Diante disso, objetivou-se avaliar a seletividade e a eficácia de herbicidas aplicados de modo isolado ou associados em pré e pós-emergência na cultura da canola.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados dois experimentos a campo na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Erechim/RS, de maio a setembro de 2020. No primeiro experimento, foi avaliada a seletividade dos herbicidas à cultura da canola e, no segundo, a eficácia de controle dos produtos sobre as plantas daninhas nabo (*Raphanus raphanistrum*), azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena strigosa*).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Alumino férrico humico (SANTOS et al. 2018b). A correção do pH e a adubação do solo foram realizadas de acordo com a análise físico-química e seguindo-se as recomendações técnicas para a cultura da canola (SBCS 2016). As características químicas e físicas do solo foram: pH em água de 4,7; MO = 3,04%; P = 10,05 mg dm⁻³; K = 0,66 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,3 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 5,8 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 4,1 cmol_c dm⁻³; CTC_{efetiva} = 9,9 cmol_c dm⁻³; CTC_{pH7} = 16,77 cmol_c dm⁻³; H+Al = 6,21 cmol_c dm⁻³; Saturação de bases = 62,97% e Argila = 64%. As condições meteorológicas, como precipitação e temperatura (°C), registradas durante o período de realização dos experimentos podem ser observadas na Figura 1.

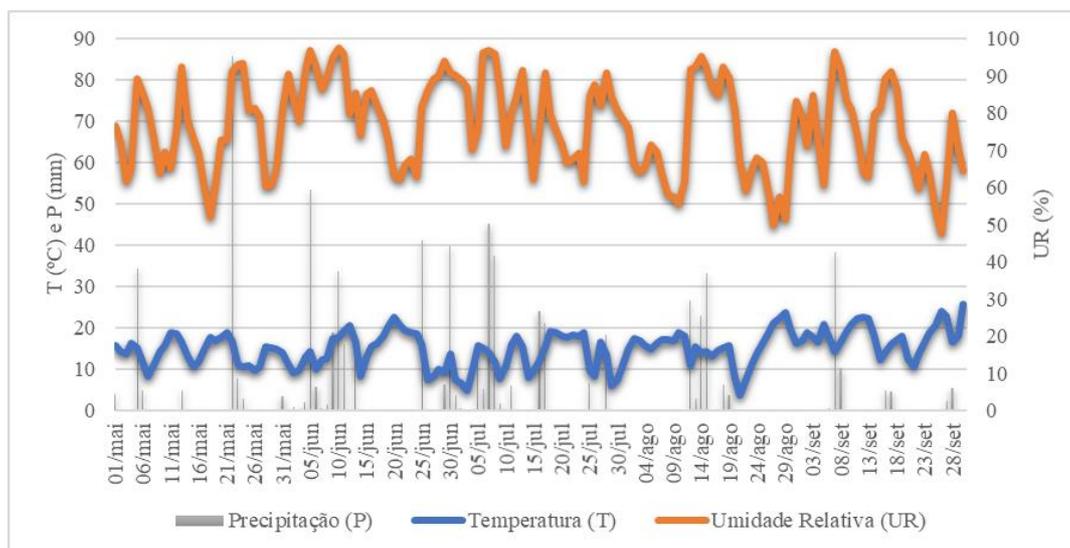


Figura 1. Temperatura média (°C) e precipitação (mm) durante o período de condução dos experimentos, de maio a setembro de 2020. Fonte: (INMET 2021).

Figure 1. Average temperature (°C) and precipitation (mm) during the period of the experiments, from May to September 2020. Source: (INMET 2021).

Os experimentos foram instalados em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições (Tabela 1). Cada unidade experimental contou com as dimensões de 3 x 5 m (largura e comprimento), totalizando área de 15 m², contendo seis linhas de semeadura espaçadas em 0,5 m, sendo que as sementes foram depositadas no sulco a uma profundidade de 2 a 3 cm. A área útil (8 m²) correspondeu às quatro linhas centrais, descartando-se as bordaduras laterais (uma linha em cada lado das parcelas) e as frontais (0,5 m no início e fim das parcelas).

Tabela 1. Tratamentos utilizados nos experimentos, respectivas doses e modalidade de aplicação. UFFS/Erechim/RS, 2020.

Table 1. Treatments used in the experiments, respective doses and modality of application. UFFS/Erechim/RS, 2020.

Tratamentos	Dose (g ha ⁻¹)	Dose (kg/L ha ⁻¹)	Modalidade de aplicação
	Ingrediente ativo	Produto comercial	
Testemunha capinada
Testemunha infestada*
Oxyfluorfen	600	2,50	Pré-emergência
Pendimethalin	800	2,00	Pré-emergência
Flumioxazin	50	0,10	Pré-emergência
Trifluralin	900	2,00	Pré-emergência
Oxyfluorfen+fluazifop-p-butil	600+187,5	2,50+0,75	Pré e Pós-emergência
Pendimethalin+fluazifop-p-butil	1000+187,5	2,00+0,75	Pré e Pós-emergência
Flumioxazin+fluazifop-p-butil	50+187,5	0,10+0,75	Pré e Pós-emergência
Trifluralin+fluazifop-p-butil	900+187,5	2,00+0,75	Pré e Pós-emergência
Fluazifop-p-butil	187,5	0,75	Pós-emergência

* Experimento de seletividade não possui tratamento com testemunha infestada.

A semeadura dos experimentos ocorreu em 20/05/2020, utilizando-se o híbrido de canola de ciclo precoce, Diamond. A densidade média de sementes foi de 70 plantas m⁻². Para adubação de base foi utilizado 250 kg ha⁻¹ da fórmula 05-30-15 (N-P₂O₅-K₂O).

A aplicação dos herbicidas foi efetuada com a utilização de um pulverizador costal de precisão, pressurizado a CO₂, equipado com quatro pontas de pulverização do tipo leque DG 110.02, mantendo-se a pressão constante de 210 kPa e velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹, o que proporcionou a vazão de 150 L ha⁻¹ de calda herbicida. As condições meteorológicas registradas durante a aplicação dos tratamentos nos experimentos podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Condições meteorológicas registradas no momento da aplicação dos tratamentos em pré e pós emergência da cultura da canola para os dois experimentos com a cultivar Diamond. UFFS/ Erechim/RS, 2020.

Table 2. Environmental conditions at the time of application of treatments in pre- and post-emergence of canola crop for the two trials with the Diamond cultivar. UFFS/ Erechim/RS, 2020.

Época de aplicação	Luminosidade (%)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura do solo (°C)	Velocidade do vento (km h ⁻¹)	Condições do solo	Umidade relativa (%)
Pré-emergência	100	25	24,4	6	Friável	55
Pós-emergência	100	18	13,6	6,5	Úmido	60

No experimento de eficácia, as plantas daninhas infestantes da cultura da canola (nabo, azevém e aveia preta) foram provenientes do banco de sementes do solo. No momento da aplicação dos herbicidas

em pós-emergência, a densidade das plantas daninhas foi de 101, 53 e 67 plantas m^{-2} , de nabo, azevém e aveia preta, respectivamente. Registrou-se estágio de quatro a seis folhas para o nabo, o azevém e a aveia preta com um a quatro perfilhos e a canola em B4 a B5, com quatro a cinco folhas verdadeiras desenroladas. No experimento de seletividade as plantas daninhas que vieram a infestar a canola foram capinadas sempre que necessário.

As variáveis avaliadas foram; fitotoxicidade dos herbicidas ao híbrido de canola Diamond, aos 25 e 32 dias após a emergência (DAE) para os produtos aplicados em pré-emergência e aos 7, 14, 21 e 28 dias após aplicação dos pós-emergentes (DAT). As avaliações de controle das plantas daninhas (nabo, azevém e aveia preta) foram efetuadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAT. Tanto para a fitotoxicidade à canola quanto para o controle de plantas daninhas foram atribuídas notas percentuais, sendo zero (0%) aos tratamentos com ausência de injúrias às plantas e de cem (100%) para a morte das plantas da canola e/ou das plantas daninhas de acordo com a metodologia proposta por VELINI et al. (1995).

Aos 64 DAE, no início do florescimento da canola, foram realizadas as avaliações das trocas gasosas utilizando um analisador de gás por infravermelho (IRGA), modelo LCpro-SD (ADC BioScientific Ltd). As variáveis avaliadas foram: concentração interna de CO_2 ($C_i - \mu mol\ mol^{-1}$), coeficiente de transpiração ($E - mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), condutância de gases ($G_s - mol\ m^{-1}\ s^{-1}$), atividade fotossintética ($A - \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), eficiência do uso da água (EUA - $mol\ CO_2\ mol\ H_2O^{-1}$) e eficiência de carboxilação (EC - $mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$). A eficiência do uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação (EC) foram calculadas a partir da razão das variáveis A/E e A/C_i , respectivamente. Cada bloco experimental foi avaliado sob iluminação natural em um dia, entre oito e 11:00 h, em condições de céu aberto, de forma que se mantivessem as condições ambientais homogêneas durante as análises.

Na pré-colheita, avaliou-se o estande da canola (plantas m^{-1}). Posteriormente, coletaram-se de modo aleatório dez plantas de canola na área útil de cada parcela, acondicionando-se as mesmas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para a contagem dos componentes de rendimento, como número de síliquas por planta e número de grãos por síliqua.

Após a colheita manual e trilha da canola em área de 8 m^2 , foi determinada a massa de mil grãos (g) e a produtividade de grãos ($kg\ ha^{-1}$). A massa de mil grãos foi aferida por contagem de oito amostras de 100 grãos cada e posteriormente pesadas em balança analítica. Para as análises, a umidade dos grãos foi padronizada para o teor de 10%.

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias e, após a comprovação da normalidade dos erros, realizou-se análise de variância pelo teste F, em sendo significativos aplicou-se o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas no programa Sisvar 5.6 (FERREIRA 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento um – Seletividade de herbicidas aplicados na cultivar de canola Diamond

Houve maior fitotoxicidade à canola ao se aplicar os herbicidas oxyfluorfen, flumiozaxin e trifluralin, isolados ou quando associados com fluazifop-p-butill, tanto nas avaliações efetuadas em pré como na pós-emergência do híbrido Diamond (Tabela 3). Essa maior fitotoxicidade causada pelo oxyfluorfen, flumiozaxin e trifluralin ocorre em função de que a tolerância das plantas a herbicidas é variável de produto para produto, independentemente do mecanismo de ação e do grupo químico dos mesmos, podendo estar associada à época de aplicação (pré ou pós-emergência), dose utilizada, estágio da planta no momento da aplicação, características de solo, do clima, da planta (relacionadas à absorção, translocação e metabolização do herbicida, alteração no sítio de ação, etc.) (OLIVEIRA Jr. & INOUE 2011). Assim sendo quando esses herbicidas são usados nessa cultura a mesma não consegue metabolizar ou degradar e como consequência se livrar dos efeitos tóxicos desses produtos (MEROTTO Jr. et al. 2000, CORREIA & CARVALHO 2021).

O oxyfluorfen e o flumiozaxin são herbicidas utilizados no controle de gramíneas e eudicotiledôneas, agindo na inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) presente nos cloroplastos, levando a peroxidação de lipídios das membranas, causando à necrose e à morte das plantas (RODRIGUES & ALMEIDA 2018). Já trifluralin é um herbicida pré-emergente indicado para o controle de plantas daninhas mono e eudicotiledôneas infestantes de várias culturas, exceto para a canola (AGROFIT 2023). VARGAS et al. (2011) também observaram que o uso de trifluralin causou fitotoxicidade de até 40% na cultura da canola, corroborando desse modo com os resultados encontrados no presente estudo, apesar das diferenças entre os híbridos avaliados nos dois trabalhos os resultados quanto a seletividade foram similares. OLIVEIRA NETO et al. (2011) ao trabalharem com diferentes herbicidas na cultura do crambe

(*Crambe abyssinica* Hochst. ex Fries - Brassicaceae), observaram que doses acima de 450 g ha⁻¹ de trifluralin ocasionaram fitotoxicidade superior a 20%, chegando a causar injúrias irreversíveis, maiores que 80% ao usarem 900 g ha⁻¹. Os resultados encontrados no presente estudo corroboram em partes aos observados pelos pesquisadores.

Tabela 3. Fitotoxicidade (%) ao híbrido de canola Diamond, em função da aplicação de herbicidas em pré e pós-emergência, no ano agrícola 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Table 3. Phytotoxicity (%) to canola hybrid Diamond, as a function of herbicide application in pre- and post-emergence, in year agricultural 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Tratamentos	Fitotoxicidade à canola (%)					
	25 DAE ¹	32 DAE	7 DAT ²	14 DAT	21 DAT	28 DAT
Testemunha capinada	00,00 f ³	00,00 g	00,00 e	00,00 e	00,00 g	00,00 f
Oxyfluorfen	89,00 a	61,75 b	65,00 b	63,25 a	48,25 b	47,75 a
Pendimethalin	06,75 e	01,75 g	00,00 e	00,00 e	00,00 g	00,00 f
Flumioxazin	21,75 d	28,25 e	23,25 d	14,00 d	24,00 e	10,75 e
Trifluralin	46,75 b	43,25 c	37,75 c	27,75 c	42,50 c	20,00 d
Oxyfluorfen+fluazifop ⁴	87,75 a	65,00 a	71,75 a	57,75 b	60,00 a	45,00 b
Pendimethalin+fluazifop ⁴	05,00 e	02,50 g	00,00 e	00,00 e	00,00 g	00,00 f
Flumioxazin+fluazifop ⁴	35,00 c	21,75 f	20,00 d	13,00 d	12,75 f	11,75 e
Trifluralin+fluazifop ⁴	48,25 b	37,50 d	35,00 c	27,50 c	33,25 d	25,00 c
Fluazifop-p-butil ⁴	---	---	0,00 e	00,00 e	00,00 g	00,00 f
Média Geral	37,81	29,08	25,28	20,33	22,08	16,03
CV (%)	07,49	06,93	08,88	07,56	21,07	09,78

¹ DAE: dias após a emergência. ² DAT: dias após a aplicação dos tratamentos. ³ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁴ Aplicados em pós-emergência da canola.

O pendimethalin foi o herbicida pré-emergente que ocasionou a menor fitotoxicidade à canola, aos 25 e 32 dias após a emergência da cultura - DAE (Tabela 3). Ressalta-se ainda que pendimethalin foi o tratamento que manteve as menores fitotoxicidades mesmo quando associado a fluazifop-p-butil, igualando-se estatisticamente a esse herbicida e a testemunha capinada. Isso pode estar relacionado com a profundidade de sementeira, pois a localização espacial do herbicida em relação à semente é um importante mecanismo de seletividade, já que este produto tem como característica a imobilidade no solo e como consequência se tem menores injúrias às culturas. Este fato pode estar relacionado a seletividade toponômica, mecanismo que consiste na separação espacial entre tecidos vegetais sensíveis e o herbicida (SANTOS et al. 2011), como ocorreu com o pendimethalin no presente estudo. No entanto escassas são as informações sobre este tema, principalmente em relação a cultura da canola.

Desse modo, as sementes devem estar abaixo da camada onde se encontra o herbicida, já que a absorção desse produto ocorre pelas raízes ou coleóptilo, pois a absorção pelas folhas é baixa e o mesmo não é translocado para outras partes da planta (RODRIGUES & ALMEIDA 2018). VARGAS et al. (2011) verificaram que o uso de pendimethalin em canola causou elevada fitotoxicidade, diferindo dos dados encontrados no presente estudo, o que pode ocorrer por condições de clima, de solos, profundidade de sementeira, híbridos usados serem diferentes, dentre outros.

Entre todos os tratamentos herbicidas testados, tanto em pré quanto em pós-emergência, observou-se que pendimethalin, fluazifop-p-butil e a associação desses ocasionaram as menores fitotoxicidades ao híbrido de canola Diamond, em todas as épocas avaliadas (Tabela 3). Isso se deve pelo fato que o pendimethalin é intensamente sorvido pela matéria orgânica do solo e praticamente insolúvel na água, sendo de difícil lixiviação o que torna absorção pela cultura dificultada (RODRIGUES & ALMEIDA 2018). Já fluazifop-p-butil é um herbicida graminicida, ou seja, controla gramíneas infestantes de culturas eudicotiledôneas, sendo que essas apresentam insensibilidade enzimática e assim ocorre seletividade ao

produto. Segundo VARGAS et al. (2011), herbicidas gramínicos como o clodim, setoxydim e haloxyfop podem ser utilizados em pós-emergência da canola que não irão afetar a produtividade da cultura, já que as eudicotiledôneas não são controladas por este mecanismo de ação, sendo assim os produtos seletivos.

Observou-se com o passar do tempo que a cultura da canola foi se recuperando das elevadas porcentagens de fitotoxicidade ocasionadas pelos herbicidas, aplicados em pré-emergência ou desses associados ao fluazifop-p-butil em pós-emergência, em especial para o flumioxazin (Tabela 3), o que refletiu inclusive desse tratamento ter alcançado uma das maiores produtividades de grãos, igualando-se à testemunha capinada e ao fluazifop-p-butil (Tabela 5). ROBINSON et al. (2015) afirmam que as injúrias causadas pelos herbicidas nas plantas são transitórias e por isso podem não afetar a produção final da cultura ou que essa possa vir a se recuperar dos sintomas de fitotoxicidade dos produtos.

Para pendimethalin, verificou-se baixa fitotoxicidade nas plantas de canola quando aplicado em pré-emergência, tanto de forma isolada como em associação (Tabela 3). Ao ser associado (pendimethalin) com o fluazifop-p-butil aplicado em pós-emergência não ocorreu fitotoxicidade à canola, dados esses que também foram observados por OLIVEIRA NETO et al. (2011), quando trabalharam com a cultura do crambe, pertencente a família das Brassicaceae. SIDAR (2019) também observou em seu estudo que o pendimethalin proporcionou baixa fitotoxicidade à cultura da canola, assemelhando-se assim os resultados encontrados pelos pesquisadores.

As respostas fisiológicas da cultura da canola, após a aplicação dos tratamentos estão representadas na Tabela 4, sendo que a testemunha capinada teve, na maioria das situações, o melhor desempenho ao se comparar com o uso dos herbicidas. Os herbicidas podem ocasionar alterações no metabolismo ou na fisiologia das plantas, com efeitos potencialmente tóxicos (OLIVEIRA Jr. & INOUE 2011, CORREIA & CARVALHO 2021). Fato esse também constatado em outras pesquisas envolvendo a aplicação de herbicidas na cultura da canola (DURIGON et al. 2018, UMURZOKOV et al. 2019, GALON et al. 2022).

Tabela 4. Variáveis fisiológicas, concentração interna de CO₂ (Ci - μmol mol⁻¹), condutância estomática de vapores de água (Gs - mol m⁻¹ s⁻¹), taxa fotossintética (A - μmol m⁻² s⁻¹), taxa transpiratória (E - mol m⁻² s⁻¹), eficiência na carboxilação (EC - mol CO₂ m⁻² s⁻¹) e eficiência no uso da água das plantas (EUA - mol CO₂ mol H₂O⁻¹) do híbrido de canola Diamond, em função da aplicação de herbicidas, no ano agrícola 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Table 4. Physiological variables, internal CO₂ concentration (Ci - μmol mol⁻¹), stomatal water vapour conductance (Gs - mol m⁻¹ s⁻¹), photosynthetic rate (A - μmol m⁻² s⁻¹), transpiration rate (E - mol m⁻² s⁻¹), carboxylation efficiency (EC - mol CO₂ m⁻² s⁻¹) and plant water use efficiency (EUA - mol CO₂ mol H₂O⁻¹) of canola hybrid Diamond, as a function of herbicide application, in year agricultural 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Tratamentos	Variáveis fisiológicas da canola					
	Ci	GS	A	E	EC	EUA
Testemunha capinada	233,00 b ¹	0,41 b	25,25 a	1,30 c	0,11 a	19,38 a
Oxyfluorfen	271,25 a	0,48 b	22,76 a	1,28 c	0,08 b	17,85 a
Pendimethalin	287,00 a	0,51 a	21,71 b	1,39 c	0,07 c	15,72 b
Flumioxazin	283,00 a	0,49 a	19,19 b	1,55 b	0,06 c	12,39 c
Trifluralin	273,75 a	0,49 a	24,16 a	1,33 c	0,08 b	18,18 a
Oxyfluorfen+fluazifop ²	286,25 a	0,42 b	18,87 b	1,30 c	0,06 c	15,00 b
Pendimethalin+fluazifop ²	269,25 a	0,54 a	22,91 a	1,49 b	0,08 b	15,36 b
Flumioxazin+fluazifop ²	277,75 a	0,54 a	23,09 a	1,78 a	0,08 b	13,00 c
Trifluralin+fluazifop ²	273,00 a	0,49 a	21,10 b	1,15 c	0,07 c	18,47 a
Fluazifop-p-butil ²	276,25 a	0,42 b	20,90 b	1,20 c	0,07 c	17,55 a
Média Geral	273,05	0,48	21,99	1,37	0,08	16,29
CV (%)	3,50	9,96	8,42	9,82	10,54	12,07

¹ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ² Aplicados em pós-emergência da canola.

A menor concentração interna de CO₂ (Ci) foi observada na testemunha capinada, enquanto os maiores valores foram identificados nos tratamentos com os herbicidas (Tabela 4). Quando o aumento do Ci está associado à redução na taxa fotossintética, há um possível dano na etapa bioquímica da fotossíntese (PINHEIRO & CHAVES 2011), como observado para os herbicidas oxyfluorfen+fluazifop-p-butil e fluazifop-p-butil. No entanto, os demais herbicidas promoveram um aumento em Ci associado com o aumento na Gs e A, o que indicou a manutenção ou incremento na capacidade das plantas de assimilar CO₂. Quando há quantidade adequada de luz e ausência de estresse, como déficit hídrico, ou estresse causado por herbicidas, concentrações mais altas de CO₂ sustentam taxas fotossintéticas elevadas, enquanto que em concentrações intercelulares de CO₂ muito baixas a fotossíntese é limitada (DALASTRA et al. 2014).

Os menores valores de condutância estomática de vapores de água (Gs) foram observados para a testemunha capinada e os herbicidas oxyfluorfen, oxyfluorfen+fluazifop-p-butil e fluazifop (Tabela 4). GIMÉNEZ–MOOLHUYZEN et al. (2020) relatam que a redução da condutância estomática pode limitar a taxa de retenção de CO₂ e, conseqüentemente, a concentração interna de CO₂ diminui nos espaços intercelulares devido ao consumo de CO₂ pela atividade fotossintética. De modo geral, pode-se dizer que as plantas quando estão sob algum tipo de estresse acabam reduzindo a condutância estomática, a transpiração e aumentam a eficiência do uso da água.

A taxa fotossintética (A) foi diferente quanto ao tipo de herbicida utilizado, sendo que pendimethalin, flumioxazin, oxyfluorfen+fluazifop-p-butil, trifluralin+fluazifop-p-butil e fluazifop-p-butil foram os tratamentos que mais influenciaram negativamente (Tabela 4). Isso se deve ao fato de que quando ocorre redução na condutância estomática e na transpiração ocorre aumento na eficiência do uso da água provocando a redução na taxa de fotossíntese. A aplicação de diferentes herbicidas fez com que o metabolismo da planta conseguisse realizar fotossíntese com menor abertura estomática e com menos CO₂ nos espaços intercelulares sem comprometer a eficiência no uso da água (DALASTRA et al. 2014). MEROTTO Jr. et al. (2000) relatam que as plantas possuem variações quanto a tolerância aos herbicidas, sendo que isso possui relação direta com as diferenças genéticas entre as espécies ou até mesmo entre cultivares/híbridos, idade da planta, aspectos morfológicos, taxa de absorção e translocação, ou mesmo pelas estruturas químicas dos próprios produtos, ocasionando respostas fisiológicas distintas.

Ressalta-se ainda que diferentes condições de estresse seja ele hídrico, osmótico, excesso de luminosidade, salinidade, temperatura, injúrias provocadas por patógenos, herbicidas e outros, fazem com que as plantas sofram alterações em seu metabolismo, e conseqüentemente ocorra a formação de espécies reativas de oxigênio (XAVIER et al. 2018), que causam a oxidação de importantes componentes celulares, podendo causar a morte das células, aumentando assim efeitos negativos na fisiologia das plantas.

A taxa transpiratória (E) foi maior para a aplicação de flumioxazin+fluazifop-p-butil. Para os demais herbicidas e também à testemunha capinada ocorreram menores valores para essa variável (Tabela 4). Quando há competição ou mesmo algum estresse sobre as plantas, a taxa de transpiração tende a diminuir, pois ela possui estreita relação com o fechamento dos estômatos (DALASTRA et al. 2014, GIMÉNEZ - MOOLHUYZEN et al. 2020). Além do que a frequência de abertura e fechamento dos estômatos causa alterações no potencial hídrico, pois atuam no coeficiente de transpiração (DALASTRA et al. 2014).

Em relação a eficiência de carboxilação (EC), somente a testemunha capinada teve maior taxa quando comparado aos demais (Tabela 4). Quando há valores elevados de concentração interna de CO₂, associados ao aumento na condutância estomática, ocorre acréscimo na eficiência de carboxilação, em função da disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a rubisco (SILVA et al. 2015). A EC depende da disponibilidade de CO₂ no mesófilo foliar, quantidade de luz, temperatura e da atividade enzimática para que haja fotossíntese, porém quando as concentrações de CO₂ intercelulares são muito baixas e ocorrendo restrição da entrada deste componente nas células do mesófilo, a planta utiliza o CO₂ proveniente da respiração para manter um nível mínimo de taxa fotossintética, tornando-a limitada (DALASTRA et al. 2014).

Os herbicidas oxyfluorfen, trifluralin, fluazifop-p-butil e associação de trifluralina+fluazifop-p-butil foram os tratamentos com maior eficiência do uso da água (EUA), igualando-se estatisticamente à testemunha capinada (Tabela 4). Pode-se dizer que a canola estava sob intenso estresse, isso fez com que a planta tivesse maior atividade fisiológica para tentar superar o efeito dos herbicidas.

A Ci, a Gs, a A, a E, a EC e a EUA foram diferentes devido à aplicação dos herbicidas sobre a cultura da canola (Tabela 4). Infere-se que essas variáveis foram influenciadas pelo uso dos herbicidas testados, sendo a testemunha capinada sem aplicação o tratamento que teve os melhores resultados para todas essas variáveis (Ci, a Gs, a A, a E, a EC e a EUA) e conseqüentemente para a produtividade de grãos da cultura também. Resultados esses que se assemelham as observados por DURIGON et al. (2018),

UMURZOKOV et al. (2019) e GALON et al. (2022) ao aplicarem diferentes herbicidas para o manejo de plantas daninhas infestantes da cultura da canola.

O uso de flumioxazin e a associação de flumioxazin+fluazifop-p-butil apresentaram os melhores resultados para o número de síliquas por planta (NSP) da canola, sendo 56% superiores ao serem comparados com a testemunha capinada (Tabela 5). Esse fato ocorre em função de que esses produtos apresentaram as menores taxas de fitotoxicidade à cultura e assim as plantas de canola precisaram investir menor quantidade de energia para detoxicação dos herbicidas, tendo como consequência mais fotoassimilados disponíveis para maior produção de NSP. O número de grãos por síliqua (NGS) não teve diferença em relação aos tratamentos aplicados na cultura da canola, possivelmente pelo fato da planta ter conseguido superar os efeitos tóxicos dos produtos durante o seu ciclo de desenvolvimento.

Tabela 5. Componentes de rendimento de grãos do híbrido de canola Diamond, número de síliquas (NSP – por planta), número de grãos por síliqua (NGS), número de plantas m^{-1} (NPM), massa de mil grãos (MG – g), produtividade de grãos (PROD – $kg\ ha^{-1}$) em função da aplicação de herbicidas, no ano agrícola 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Table 5. Grain yield components of canola hybrid Diamond, number of siliques (NSP - per plant), number of grains per silique (NGS), number of plants m^{-1} (NPM), thousand grain weight (MG - g), grain yield (PROD - $kg\ ha^{-1}$) as a function of herbicide application, in year agricultural 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Tratamentos	Componentes de rendimento de grãos				
	NSP	NGS	NPM	MG	PROD
Testemunha capinada	78,25 d ¹	24,50 a	36,25 a	2,99 a	2870,15 a
Oxyfluorfen	98,25 c	21,00 a	24,00 c	2,02 d	1902,18 e
Pendimethalin	84,00 d	23,75 a	37,00 a	2,73 a	2236,01 d
Flumioxazin	177,50 a	24,25 a	22,25 c	2,47 b	2910,86 a
Trifluralin	84,25 d	24,25 a	24,00 c	2,34 c	2346,37 c
Oxyfluorfen + fluazifop ²	110,00 b	26,00 a	23,00 c	2,51 b	1475,03 g
Pendimethalin + fluazifop ²	81,25 d	23,50 a	36,25 a	2,61 b	2731,54 b
Flumioxazin + fluazifop ²	175,75 a	21,25 a	11,75 d	2,47 b	2416,46 c
Trifluralin + fluazifop ²	84,25 d	23,00 a	22,25 c	2,06 d	1739,80 f
Fluazifop-p-butil ²	116,25 b	23,75 a	32,75 b	2,75 a	2932,88 a
Média Geral	109,45	23,53	27,10	2,49	2356,13
CV (%)	7,97	8,10	7,86	8,13	3,64

¹ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ² Aplicados em pós-emergência da canola.

Para o número de plantas m^{-1} (NPM), a testemunha capinada, seguida dos herbicidas pendimethalin e pendimethalin+fluazifop-p-butil tiveram os melhores resultados (Tabela 5). Já os piores resultados foram expressos pelo oxyfluorfen, flumioxazin e trifluralin que causaram as maiores fitotoxicidades (Tabela 3) na cultura. Desse modo a canola, além de não conseguir se recuperar dos efeitos de fitotoxicidade, também sofreu grande influência nas variáveis fisiológicas pela aplicação dos produtos.

Quanto à massa de mil grãos (MG), os melhores resultados foram observados para a testemunha capinada, pendimethalin e fluazifop-p-butil (Tabela 5). Os piores resultados foram denotados ao se aplicar o oxyfluorfen e o trifluralin+fluazifop-p-butil, sendo 32,44% menores que a testemunha capinada, provavelmente esse fato deve-se a redução do número de plantas de canola. Dados esses que corroboram com os relatos por VARGAS et al. (2011) ao testarem diversos herbicidas em canola.

A aplicação de flumioxazin e de fluazifop-p-butil igualou-se estatisticamente a testemunha capinada com as melhores produtividades de grãos da canola (Tabela 5). Os demais tratamentos testados demonstraram produtividades de grãos menores que a testemunha capinada, o flumioxazin e o fluazifop-p-butil. Provavelmente esse fato ocorreu em virtude da canola ter se livrado dos danos provocados pelo

flumioxazin, após os 28 DAT e a ausência de injúrias que o fluazifop-p-butil ocasionou em todas as avaliações efetuadas de fitotoxicidade (Tabela 3).

VARGAS et al. (2011) observaram que os herbicidas que apresentam menor fitotoxicidade a canola expressaram as maiores produtividades de grãos, corroborando com os resultados do presente estudo. De forma contrária ao encontrado nesse trabalho, o uso de pendimethalin em canola para o controle de plantas daninhas, não afetou o rendimento de grãos da cultura, sendo que a mesma se igualou a testemunha capinada (KAUR et al. 2016). Esse fato provavelmente decorre em virtude que cada cultivar apresenta diferenciação em relação a tolerância ou suscetibilidade a determinado herbicida, conforme observado também por STANTON et al. (2010).

O uso do herbicida oxyfluorfen e quando sobre esse se aplicou em pós-emergência o fluazifop-p-butil acarretaram as maiores porcentagens de fitotoxicidade (Tabela 3) à canola, o que levou a cultura apresentar as menores produtividades de grãos para esses tratamentos (Tabela 5). Por outro lado, dentre os herbicidas o fluazifop-p-butil ocasionou a menor fitotoxicidade nas plantas de canola, em todas as avaliações, o que consequentemente demonstrou a maior produtividade de grãos (Tabela 6), junto com a testemunha capinada. Desta forma pode-se dizer que as variáveis relacionadas com os componentes de rendimento de grãos da canola foram influenciadas pela aplicação dos herbicidas, sendo a provável causa disso decorrente das elevadas fitotoxicidade e o efeito na fisiologia que os tratamentos acarretaram ao híbrido Diamond.

Convém destacar que os herbicidas oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin e trifluralin não são registrados e nem recomendados para aplicação na cultura da canola (AGROFIT 2023). Desse modo o presente trabalho é exploratório e com objetivo de buscar alguma solução para o manejo de plantas daninhas infestantes dessa cultura, já que escassos são os herbicidas que tem registrados para uso em canola e os que são recomendados ocorre espécies de plantas daninhas com resistência, como por exemplo, o azevém (MARIANI et al. 2015) e o nabo (CECHIN et al. 2016).

Experimento dois - Eficácia de herbicidas aplicados em canola para o controle de plantas daninhas

Os resultados demonstram que nenhum herbicida aplicado, tanto em pré quanto em pós-emergência, de modo isolado ou associado foi eficiente no controle do nabo, sendo todos eles inferiores estatisticamente a testemunha capinada (Tabela 6). Aos 25 e 32 DAE os herbicidas oxyfluorfen e oxyfluorfen+fluazifop-p-butil apresentaram os melhores controles do nabo quando comparados aos demais produtos, no entanto foram inferiores a testemunha capinada. Os demais tratamentos herbicidas somente foram superiores ou iguais a testemunha infestada ou igualaram-se a essa.

Nas avaliações efetuadas aos 7, 14, 21 e 28 DAT novamente o uso de oxyfluorfen e oxyfluorfen+fluazifop-p-butil demonstraram os melhores controles do nabo quando comparado aos demais tratamentos, porém com porcentagem de controle muito baixa, de 46,75 até 80% (Tabela 6). Observou-se que somente os tratamentos oxyfluorfen e oxyfluorfen+fluazifop-p-butil apresentaram controle do nabo superior a 80% e até a avaliação de 32 DAE, sendo essa porcentagem o valor mínimo necessário para que determinado herbicida possa ser recomendado para o controle de plantas daninhas (OLIVEIRA et al. 2009). No entanto essa recomendação torna-se preocupante, pelo fato do nabo ser muito competitivo com as culturas, em especial a canola por serem de mesma família botânica, ou mesmo por essa espécie de planta daninha apresentar resistência aos herbicidas inibidores de ALS (aceto lactato sintase), produtos muito usados para o manejo de plantas daninhas em culturas semeadas no inverno (PANDOLFO et al. 2013, CECHIN et al. 2016). A partir dos 32 DAE nem um tratamento demonstrou controle de nabo superior a 80%, exceto a testemunha capinada.

A redução de controle do oxyfluorfen após os 32 DAE deve-se em parte a perda do residual do produto, já que esse herbicida tem uma persistência no solo de 20 a 30 dias, ou seja, após a aplicação ficará por até 30 dias controlando o nabo e posteriormente poderá ocorrer novo fluxo de plantas (RODRIGUES & ALMEIDA 2018).

Os menores índices ou ausência de controle de nabo foram apresentados pelo pendimethalin e trifluralin aplicados em pré-emergência ou associados ao fluazifop-p-butil (Tabela 6). Ressalta-se, no entanto, que o pendimethalin, trifluralin e o fluazifop-p-butil não apresentam registro e recomendação para o controle de nabo (AGROFIT 2023), desse modo torna-se compreensível os baixos índices ou mesmo a ausência de efeitos ou de controle na planta daninha, nas avaliações que foram efetuados no presente estudo.

Tabela 6. Controle (%) de nabo (*Raphanus raphanistrum*) infestante do híbrido de canola Diamond, em função da aplicação de herbicidas em pré e pós-emergência das plantas, no agrícola 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Table 6. Control (%) of turnip (*Raphanus raphanistrum*) infesting the canola hybrid Diamond, as a function of herbicide application in pre- and post-emergence of the plants, in agricultural 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Tratamentos	Controle de nabo (%)					
	25 DAE ¹	32 DAE	7 DAT ²	14 DAT	21 DAT	28 DAT
Testemunha capinada	100,00a ³	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Testemunha infestada	0,00 e	0,00 f	0,00 e	0,00 f	0,00 d	0,00 e
Oxyfluorfen	89,00 b	88,75 b	65,00 b	69,00 c	71,74 b	60,00 b
Pendimethalin	30,00 e	30,00 e	0,00 e	0,00 f	0,00 d	0,00 e
Flumioxazin	44,50 c	65,00 c	53,25 c	50,00 d	25,25 c	40,00 c
Trifluralin	38,25 d	67,75 c	30,00 d	40,00 e	58,25 b	40,00 c
Oxyfluorfen+fluazifop ⁴	88,75 b	88,25 b	68,25 b	80,00 b	65,00 b	46,75 c
Pendimethalin+fluazifop ⁴	35,00 d	23,25 e	0,00 e	0,00 f	0,00 d	0,00 e
Flumioxazin+fluazifop ⁴	50,00 c	46,75 d	20,00 d	40,00 e	32,25 c	20,00 d
Trifluralin+fluazifop ⁴	48,25 c	70,00 c	75,00 b	51,75 d	68,25 b	46,75 c
Fluazifop-p-butil ⁴	---	---	0,00 e	0,00 f	0,00 d	0,00 e
Média Geral	52,38	57,98	41,89	39,16	38,27	32,14
CV (%)	8,31	10,21	21,88	5,75	41,19	22,83

¹ DAE: dias após a emergência. ²DAT: dias após a aplicação dos tratamentos. ³ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁴Aplicados em pós-emergência da canola.

BALEM et al. (2021), quando utilizaram os herbicidas pinoxaden e clodinafope-propargil em pós-emergência para controle de nabo também não obtiveram controle da planta daninha, já que esses produtos assim como o fluazifop-p-butil, são inibidores de Acetil Coenzima-A carboxilase (ACCCase) recomendados para o controle de gramíneas, o que corrobora em partes aos resultados observados no presente estudo. GALON et al. (2021) ao utilizarem o pendimethalin e flumioxazin também encontram baixos índices de controle de nabo ao infestar a cultura da canola Hyola 575 CL, fato esse que assemelha-se aos resultados encontrados na presente pesquisa. Esses autores relataram em seu trabalho que o reduzido controle do nabo deve-se a baixa umidade que o solo apresentava em função de uma estiagem ocorrida naquela estação de cultivo, assim sendo a eficácia desses herbicidas pode ser influenciada de maneira direta pelos efeitos do ambiente ou até mesmo a características diferenciadas de solo.

O flumioxazin apesar de ter recomendação para o controle de nabo/nabiça (AGROFIT 2023) foi outro tratamento que apresentou controle máximo de 65% quando aplicado em isolado e de 50% ao ser associado com o fluazifop-p-butil (Tabela 6), abaixo da recomendação mínima de 80% (OLIVEIRA et al. 2009). Este fato ocorreu devido a aplicação dos herbicidas pré-emergentes ter sido realizada no mês de maio (Figura 1), sendo que nesse mês ocorreu elevada precipitação e por isso o herbicida pode ter diminuído o residual de solo (RODRIGUES & ALMEIDA 2018).

O nabo além de causar redução na produtividade de grãos também interfere na qualidade do produto e quando não controlado pode ocasionar perdas superiores a 80% na produção de canola, estando diretamente relacionado a competição por luz que ocorre entre as plantas (BRANDLER et al. 2021b). Caso a canola for destinada para produção de óleo não se recomenda a mistura de grãos de nabo junto a cultura, pois esse tem elevada concentração de ácido erúxico que é tóxico para alimentação humana (SANTOS et al. 2018a).

O azevém quando submetido a aplicação de oxyfluorfen isolado ou oxyfluorfen associado ao fluazifop-p-butil demonstrou controle acima de 83,75% dos 25 aos 32 DAE, ou seja, quando aplicado o

oxyfluorfen em pré-emergência, sendo somente inferior estatisticamente a testemunha capinada (Tabela 7). Apesar de não apresentar registro para o controle de *Lolium multiflorum* (azevém), o oxyfluorfen tem recomendação para outras gramíneas (AGROFIT 2023). O oxyfluorfen demonstrou controle do azevém até os 14 DAT superior ao mínimo exigido, no entanto para a cultura da canola não poderia ser recomendado pela elevada fitotoxicidade que esse causou (Tabela 3) e como consequência reduziu também a produtividade de grãos (Tabela 5). Convém destacar ainda que o controle mínimo de 80% é uma recomendação preocupante, pelo fato do azevém ser muito competitivo com as culturas de inverno e ainda apresentar resistência a vários mecanismos de ação, como ALS, ACCase e EPSPs (VARGAS et al. 2013, MARIANI et al. 2015).

Tabela 7. Controle (%) de azevém (*Lolium multiflorum*) infestante do híbrido de canola Diamond, em função da aplicação de herbicidas em pré e pós-emergência das plantas, no ano agrícola 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Table 7. Control (%) of ryegrass (*Lolium multiflorum*) infesting the canola hybrid Diamond, as a function of herbicide application in pre- and post-emergence of plants, in the crop year 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Tratamentos	Controle de azevém (%)					
	25 DAE ¹	32 DAE	7 DAT ²	14 DAT	21 DAT	28 DAT
Testemunha capinada	100,00 a ³	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Testemunha infestada	0,00 e	0,00 f	0,00 e	0,00 e	0,00 c	0,00 c
Oxyfluorfen	84,00 b	83,75 b	88,75 b	88,00 d	53,25 b	61,00 b
Pendimethalin	61,75 c	70,75 c	0,00 e	0,00 e	0,00 c	0,00 c
Flumioxazin	68,25 c	53,25 e	0,00 e	0,00 e	0,00 c	0,00 c
Trifluralin	55,00 d	66,75 d	0,00 e	0,00 e	0,00 c	0,00 c
Oxyfluorfen+fluazifop ⁴	85,00 b	88,25 b	90,00 b	97,75 a	100,00 a	100,00 a
Pendimethalin+fluazifop ⁴	63,25 c	73,25 c	86,50 c	95,00 b	100,00 a	100,00 a
Flumioxazin+fluazifop ⁴	62,25 c	71,75 c	86,75 c	91,75 c	100,00 a	100,00 a
Trifluralin+fluazifop ⁴	65,00 c	63,25 d	85,00 c	88,75 d	100,00 a	100,00 a
Fluazifop-p-butil ⁴	---	---	80,00 d	92,75 c	100,00 a	100,00 a
Média Geral	64,45	67,10	56,09	59,45	59,39	60,09
CV (%)	5,64	4,80	2,90	2,74	6,33	26,15

¹ DAE: dias após a emergência. ²DAT: dias após a aplicação dos tratamentos. ³ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁴ Aplicados em pós-emergência da canola.

Os demais herbicidas (pendimethalin, flumioxazin e trifluralin) utilizados em pré-emergência, mesmo que tenham registro e recomendação para o controle de azevém apresentaram controle somente superiores a testemunha infestada. E mesmo dos sete aos 28 DAT, o pendimethalin, flumioxazin e a trifluralin demonstraram ausência de controle do azevém, igualando-se a testemunha infestada (Tabela 7). De mesmo modo, devido a alta precipitação ocorrida nos meses de maio e junho do ano de 2020 (Figura 1), os herbicidas perderam residual e por isso não foram eficientes para o controle da planta daninha. GALON et al. (2021) também obtiveram baixo controle do azevém ao aplicarem o pendimethalin e o flumioxazin na canola Hyola 575 CL, fato esse que assemelha-se ao encontrado no presente estudo. Para LOVARELLI et al. (2020) as condições climáticas ativam ou inativam as moléculas de herbicidas, dependendo das características dos mesmos na presença de água.

Observou-se que o oxyfluorfen aplicado em isolado ou associado ao fluazifop-p-butil demonstraram os melhores controles de azevém aos 7 DAT, sendo inferiores somente a testemunha capinada (Tabela 7). Já aos 14 DAT o oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin aplicados em associação com o fluazifop-p-butil e o fluazifop-p-butil de modo isolado foram os melhores tratamentos herbicidas para o controle de azevém.

Pois esses produtos (oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin) favorecem o controle do banco de sementes de azevém, já que foram aplicados em pré-emergência.

A aplicação de fluazifop-p-butil de modo isolado em pós-emergência ou após o uso dos pré-emergentes oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin, trifluralin foram os tratamentos que apresentaram os melhores controles de azevém, dos 21 aos 28 DAT, onde ocasionaram 100% de controle, igualando-se a testemunha capinada. Esse ótimo controle do azevém deve-se a eficiência do fluazifop-p-butil, sendo ele um graminicida específico, que apesar de não ter registro para essa espécie de planta daninha infestante da canola é recomendado para outras gramíneas em outras culturas (AGROFIT 2023). E ainda pelo fato do azevém não ter adquirido resistência aos inibidores de ACCase na área experimental da UFFS, Campus Erechim observou-se elevado controle. Dados esses que corroboram com os encontrados por BALEM et al. (2021) quando avaliaram o controle de azevém com o uso de herbicidas inibidores de ACCase infestante da cultura do trigo.

O azevém é uma planta daninha muito competitiva ao infestar diferentes culturas, principalmente quando está espécie aparece em lavouras de canola que não apresentam tolerância a herbicidas (STANTON et al. 2010). Há muitos casos de azevém resistentes a herbicidas, tanto na Austrália como em diversos outros países, inclusive no Brasil (VARGAS et al. 2013, HEAP 2023).

Em relação ao controle de aveia preta os resultados foram muitos semelhantes ao observado para o controle de azevém, para todos os tratamentos testados e épocas de avaliação (Tabela 8). Os herbicidas que se destacaram foram o oxyfluorfen aplicado em isolado em pré-emergência ou associado com o fluazifop-p-butil, dos 25 aos 32 DAE, sendo inferiores somente a testemunha capinada com controle superior a 87%. Os demais tratamentos aplicados em pré-emergência em isolado ou associados ao fluazifop-p-butil foram superiores apenas a testemunha infestada, de forma muito similar ao corrido com o azevém.

Aos 7 DAT destacaram-se como os melhores tratamentos o oxyfluorfen+fluazifop-p-butil, pendimethalin+fluazifop-p-butil, flumioxazin+ fluazifop-p-butil e trifluralin+fluazifop-p-butil sendo superiores a todos os demais herbicidas para o controle de aveia preta, exceto a testemunha capinada (Tabela 8). Esses herbicidas que demonstram bons resultados apresentam registro para controle de gramíneas.

Tabela 8. Controle (%) de aveia preta (*Avena strigosa*) infestante do híbrido de canola Diamond, em função da aplicação de herbicidas em pré e pós-emergência das plantas, no ano agrícola 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Table 8. Control (%) of black oat (*Avena strigosa*) infesting the canola hybrid Diamond, as a function of herbicide application in pre- and post-emergence of plants, in the crop year 2020. UFFS, Campus Erechim/RS.

Tratamentos	Controle de aveia preta (%)					
	25 DAE ¹	32 DAE	7 DAT ²	14 DAT	21 DAT	28 DAT
Testemunha capinada	100,00 a ³	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a	100,00 a
Testemunha infestada	0,00 g	0,00 g	0,00 e	0,00 f	0,00 c	0,00 d
Oxyfluorfen	90,00 b	88,75 b	75,00 d	83,25 e	53,25 c	68,25 c
Pendimethalin	64,00 e	63,25 e	0,00 e	0,00 f	0,00 c	0,00 d
Flumioxazin	62,00 e	61,75 e	0,00 e	0,00 f	0,00 c	0,00 d
Trifluralina	78,00 c	76,75 c	0,00 e	0,00 f	0,00 c	0,00 d
Oxyfluorfen+fluazifop ⁴	88,00 b	87,00 b	89,25 b	98,75 a	100,00 a	100,00 a
Pendimethalin+fluazifop ⁴	58,00 f	55,00 f	81,75 c	95,00 b	100,00 a	100,00 a
Flumioxazin+fluazifop ⁴	62,00 e	61,75 e	82,25 c	92,25 c	100,00 a	100,00 a
Trifluralina+fluazifop ⁴	75,00 d	72,75 d	86,00 b	93,00 c	100,00 a	100,00 a
Fluazifop-p-butil ⁴	---	---	73,25 d	88,25 d	100,00 a	97,75 b
Média Geral	67,90	66,35	53,41	54,14	59,39	60,55
CV (%)	4,35	4,32	4,18	2,25	4,79	1,81

¹ DAE: dias após a emergência. ²DAT: dias após a aplicação dos tratamentos. ³ Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ⁴ Aplicados em pós-emergência da canola.

Os melhores tratamentos envolvendo o uso de herbicidas para o controle de aveia preta infestante da canola nas avaliações efetuadas aos 21 e 28 DAT foram as aplicações de oxyfluorfen+fluazifop-p-butil, pendimethalin+fluazifop-p-butil, flumioxazin+fluazifop-p-butil e trifluralin+fluazifop-p-butil e de modo isolado somente o fluazifop-p-butil em pós-emergência (Tabela 8).

Os herbicidas pendimethalin, flumioxazin e trifluralin aplicados em pré-emergência, de mesmo modo que observado para o controle de azevém não apresentaram eficácia para o controle de aveia preta, igualando-se a testemunha infestada dos 7 aos 28 DAT (Tabela 8). Essa ausência de controle se deve pelo fato que esses produtos não apresentam recomendação para controle desta espécie (AGROFIT 2023), tendo provavelmente a aveia-preta a capacidade de metabolizar esses produtos e torná-los assim não tóxicos.

Todos os componentes de rendimento de grãos da canola (número de síliquas por planta, número de grãos por síliqua, número de plantas m⁻¹, massa de mil grãos e produtividade de grãos) avaliados nesse experimento foram prejudicados com valores inferiores a testemunha capinada, igualando-se esses a testemunha infestada, ou seja, ausência de produção pela morte das plantas da cultura (dados não apresentados). Esse fato ocorreu em virtude que nem um tratamento herbicida, exceto a testemunha capinada (Figura 2), foi capaz de controlar o nabo em porcentagem que esse não ocasionasse a morte das plantas de canola, conforme visto na Tabela 6, chegando a um valor máximo de 60% de controle dessa planta daninha aos 28 DAT.

Por ser uma planta daninha muito competitiva e apresentar elevada estatura, o nabo sombreou completamente as plantas de canola nas unidades experimentais (Figura 2B), onde não se teve o controle do mesmo, dificultando assim até mesmo encontrar as plantas da cultura no momento da colheita.



Figura 2. Testemunha capinada (A) e demais tratamentos que não controlaram o nabo (B) no ensaio de eficácia de herbicidas em canola. UFFS, Campus Erechim/RS, 2020.

Figure 2. weeded control (A) and other treatments that did not control turnip (B) in the herbicide efficacy trial in canola. UFFS, Campus Erechim/RS, 2020.

Desse modo não se teve plantas de canola para determinação de qualquer componente de rendimento de grãos. O nabo, além de causar perdas na produtividade de grãos também interfere na qualidade do produto e quando não controlado pode ocasionar perdas superior a 80% na produção de canola, estando diretamente relacionado a competição por luz, água e nutrientes que ocorre entre as plantas (BRANDLER et al. 2021b). No entanto no presente estudo o nabo ocasionou perdas de 100% da produtividade de grãos da canola, em virtude da elevada densidade de plantas que ocorreu no experimento.

Para o controle do nabo (Tabela 6), a aplicação em pré-emergência de oxyfluorfen e oxyfluorfen+fluazifop-p-butil apresentou os melhores resultados, com controle acima de 80% até os 32 DAE, porém foram insuficientes para que a canola demonstrasse desenvolvimento adequado e posteriormente produtividade de grãos. O azevém (Tabela 7) e a aveia preta (Tabela 8) foram eficientemente controlados com o uso de fluazifop-p-butil aplicado em pós-emergência e esse associado aos pré-emergentes oxyfluorfen, pendimethalin, flumioxazin e trifluralin.

CONCLUSÃO

O herbicida oxyfluorfen aplicado em isolado ou associado ao fluazifop-p-butil ocasionou as maiores fitotoxicidades ao híbrido de canola Diamond. As menores fitotoxicidades foram observadas para o

pendimethalin e ao fluazifop-p-butil aplicados em isolado ou associados para o híbrido de canola Diamond.

Em relação as variáveis fisiológicas todos os herbicidas testados apresentaram efeito negativo sobre essas para o híbrido de canola Diamond.

O flumioxazin aplicado em pré-emergência e o fluazifop-p-butil em pós-emergência da canola híbrido Diamond foram os tratamentos herbicidas que apresentaram os melhores resultados para os componentes de rendimento de grãos da cultura, especialmente maior produtividade, juntamente com a testemunha capinada.

Os tratamentos herbicidas testados no presente estudo apresentam baixa eficiência no controle de nabo e por esse motivo essa espécie daninha influenciou negativamente para que ocorresse redução na produtividade de grãos da canola.

O fluazifop-p-butil aplicado em isolado ou associado ao oxifluorfen, pendimethalin, flumioxazin e trifluralin apresentaram eficiência no controle de azevém e aveia preta.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), pelo auxílio financeiro à pesquisa e pelas concessões de bolsas.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. 2023. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 Jan. 2023.
- ALTERMAN MK & JONES AP. 2003. Herbicidas: Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción. Santiago: Ediciones Universidad Católica del Chile. 333 p.
- BALEM R et al. 2021. Controle de nabo e azevém em trigo com herbicidas pós-emergentes. *Revista de Ciência e Inovação* 6: 1-12.
- BRANDLER D et al. 2021a. Periods of weed plant interference in canola. *Communications in Plant Sciences* 11: 001-008.
- BRANDLER D et al. 2021b. Interference and level of economic damage of turnip in canola. *Revista Agrária Acadêmica* 4: 39-56.
- CECHIN J et al. 2016. Resistência de biótipos de nabo ao herbicida iodosulfurom e controle alternativo. *Planta Daninha* 34: 151-160.
- CORREIA NM & CARVALHO ADF. 2021. Seletividade de herbicidas para batata-doce. *Weed Control Journal* 20: e202100740.
- DALASTRA GM et al. 2014. Trocas gasosas e produtividade de três cultivares de meloeiro conduzidas com um e dois frutos por planta. *Bragantia* 73: 365-371.
- DURIGON MR et al. 2019. Competitive ability of canola hybrids resistant and susceptible to herbicides. *Planta Daninha* 37: 1-9.
- DURIGON MR et al. 2018. Properties of the enzyme acetolactate synthase in herbicide resistant canola. *Bragantia* 77: 485-492.
- DURIGON MR et al. 2016. Indicações de uso e boas práticas de manejo da tecnologia Clearfield em canola para as regiões Sul e Centro-Oeste. *Revista Plantio Direto* 152: 1-9.
- FERREIRA DF. 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia* 35: 1039-1042.
- GALON L et al. 2021. Controle de plantas daninhas na cultura da canola com diferentes herbicidas. *Weed Control Journal* 1: 02100011.
- GALON L et al. 2022. Morphophysiological changes in clearfield oilseed rape as a result of the application of ALS-herbicides and weed competition. *Journal of Plant Diseases and Protection* 129: 993-1003.
- GIMÉNEZ-MOOLHUYZEN et al. 2020. Photosynthesis inhibiting effects of pesticides on sweet pepper leaves. *Insects* 11: 69-75.
- HEAP I. 2023. The International Herbicide-Resistant Weed Database. Disponível em: <<http://www.weedscience.org>>. Acesso em: 20 Jan. 2023.
- INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2021. Dados climatológicos. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 out. 2021.
- KAUR N et al. 2016. Weed management in sugarcane-canola intercropping systems in northern India. *Field Crops Research* 188: 1-9.
- LOVARELLI D et al. 2020. Barley production in Spain and Italy: Environmental comparison between different cultivation practices. *Science of The Total Environment* 707: 135982.
- MARIANI F et al. 2015. Herança da resistência de *Lolium multiflorum* ao iodosulfuron-methyl-sodium. *Planta Daninha* 33: 351-356.
- MELGAREJO MA et al. 2014. Características agronômicas e teor de canola em função da época de semeadura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola* 18: 934-938.

- MEROTTO Jr A et al. 2000. Tolerância da cultivar de soja Coodetec 201 aos herbicidas inibidores de ALS. *Planta Daninha* 18: 93-102.
- OLIVEIRA Jr. RS & INOUE MH. 2011. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA Jr. Et al. (Ed.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Ompipax. p.243-262.
- OLIVEIRA NETO AM et al. 2011. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura do crumbe. *Revista Brasileira de Herbicidas* 10: 49-56.
- OLIVEIRA AR et al. 2009. Controle de *Commelina benghalensis*, *C. erecta* e *Tripogandra diuretica* na cultura do café. *Planta Daninha* 27: 823-830.
- OLIVER DP et al. 2016. Comparative environmental impact assessment of herbicides used on genetically modified and non-genetically modified herbicide-tolerant canola crops using two risk indicators. *Science of the Total Environment* 557: 754-763.
- PANDOLFO CE et al. 2013. Limited occurrence of resistant radish (*Raphanus sativus*) to AHAS-inhibiting herbicides in Argentina. *Planta Daninha* 31: 657-666.
- PINHEIRO C & CHAVES MM. 2011. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany* 62: 869-882.
- ROBINSON MA et al. 2015. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) response to herbicides as affected by application timing and temperature. *Canadian Journal of Plant Science* 95: 325-333.
- RODRIGUES BN & ALMEIDA FS. 2018. Guia de herbicidas 7.ed. Londrina: IAPAR. 764 p.
- SANTOS G et al. 2011. Seletividade toponômica de herbicidas para a cultura do algodão. *Revista Brasileira de Herbicidas* 10: 95-102.
- SANTOS F et al. 2018a. Aproveitamento integral do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) em processos de biorrefinaria. *Engevista* 20: 374-393.
- SANTOS HG et al. 2018b. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. Brasília: EMBRAPA. 356p.
- SIDAR RS. 2019. The identification of weeds and effect of herbicides in rapeseed-mustard: A review. *Journal of Medicinal Plants* 7: 73-77.
- SILVA FG et al. 2015. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental* 19: 946-952.
- SBCS. 2016. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11.ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul. 376p.
- STANTON RA et al. 2010. Herbicide tolerant canola systems and their impact on winter crop rotations. *Field Crops Research* 117: 161-166.
- UMURZOKOV M et al. 2019. Alternative herbicides to manage unintentionally released transgenic canola. *Weed & Turfgrass Science* 8: 123-130.
- VARGAS L et al. 2011. Seletividade de herbicidas para a canola PFB-2. Passo Fundo: Embrapa Trigo 1: 1-14. (Documentos Online 130). Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/15442738.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2021.
- VARGAS L et al. 2013. Dose-response curves of *Lolium multiflorum* biotypes resistant and susceptible to clethodim. *Planta Daninha* 31: 887-892.
- VELINI ED et al. 1995. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. Londrina: SBCPD. 42p.
- XAVIER E et al. 2018. Activity of antioxidant enzymes in *Euphorbia heterophylla* biotypes and their relation to cross resistance to ALS and Protox inhibitors. *Planta Daninha* 36: 1-14.